

## PENGOLAHAN BIOMASSA BERLIGNOSELULOSA SECARA ENZIMATIS DALAM PEMBUATAN PULP: STUDI KEPUSTAKAAN

### *Enzymatic Processing of Lignocellulosic Biomass for Pulp Making: A Review*

Fitria

UPT BPP Biomaterial LIPI

Jl. Raya Bogor KM 46 Cibinong

\*Penulis korespondensi: E-mail: [fitri12@gmail.com](mailto:fitri12@gmail.com)

#### **ABSTRACT**

*Pulp (cellulose fiber suspension) is the main raw material in paper and medium density fiber (MDF) board industry. The critical process in pulping is to break down the linkage of cell wall component among lignin, hemicellulose and cellulose in order to get individual fiber of cellulose. To enhance fiber refining, pretreatment method can be applied on biomass before pulping either chemical, mechanical, thermal, biological or combination of the processes. Biological process can be chosen due to its ability to degrade the lignin so that the cellulose fiber can be taken easier. This process, called biopulping uses a set of enzymes produced by white rot fungi. This paper reviews broad improvement of biopulping and its impact to the environmental friendly goal.*

*Keywords: pulp, biopulping, natural fiber, white-rot fungi, lignocellulosic biomass*

#### **PENDAHULUAN**

Seiring dengan meningkatnya kekhawatiran karena menurunnya kualitas lingkungan hidup, saat ini masyarakat dunia menghendaki suatu industri yang lebih ramah lingkungan dan hemat energi yang mendorong dilakukannya penelitian yang berorientasi lingkungan. Industri pembuatan pulp terkenal sebagai industri yang menghasilkan banyak bahan berbahaya bagi lingkungan yang diakibatkan oleh penggunaan bahan kimia yang intensif dan konsumsi energi yang tinggi. Pembuatan *pulp* melibatkan serangkaian proses yang tujuan akhirnya untuk mendapatkan serat selulosa yang terpisah dari komponen penyusun biomassa berlignoselulosa lainnya. Industri pembuatan *pulp* yang sudah mapan melibatkan kombinasi proses mekanik, termal dan kimiawi dalam pengolahannya.

Untuk menjawab tuntutan proses pembuatan *pulp* yang lebih ramah lingkungan, telah dikembangkan proses yang dapat mengurangi konsumsi energi dan bahan kimia dengan memanfaatkan kinerja mikroorganisme yang diaplikasikan pada bahan baku *pulp* sebelum diolah lebih lanjut menjadi *pulp*. Usaha ini memunculkan istilah *biopulping* yaitu proses pembuatan *pulp* menggunakan jamur pendegradasi lignin sebelum proses pembuatan *pulp* dilakukan (Kirk and Chang, 1990). Kendala yang dihadapi dalam penggunaan mikroorganisme dalam pembuatan *pulp* adalah waktu proses yang lama dan rendahnya kualitas *pulp* yang dihasilkan. Oleh karena itu, dilakukan berbagai penelitian yang ditujukan untuk mencari jenis mikroorganisme yang paling efektif dan efisien dalam pengolahan biomassa berlignoselulosa menjadi *pulp*. Biomassa yang digunakan meliputi tanaman kayu (pinus, sengon, akasia, dll), tanaman non

kayu (bambu, sisal, kenaf, rami, dll) serta residu pertanian (bagasse, jerami padi, tandan kosong kelapa sawit, dll).

## PEMBUATAN *PULP* DARI BIOMASSA BERLIGNOSELULOSA

Sumber utama pembuatan *pulp* adalah biomassa berlignoselulosa yang disusun oleh tiga jenis polimer, yaitu selulosa, hemiselulosa dan lignin. Bahan ini merupakan sumber utama bahan terbarukan karena ketersediannya yang melimpah di alam. Ketiga polimer ini berikatan sangat kuat sehingga sulit dirombak.

Selulosa disusun oleh sub unit D-glukosa yang berikatan membentuk molekul selobiosa yang membentuk rantai panjang (elemental fibrils). Hemiselulosa dan lignin tersusun melingkupi microfibrils (yang dibentuk oleh elemental fibrils). Kumpulan microfibrils inilah yang membentuk serat selulosa (Perez *et al.*, 2002). Hemiselulosa merupakan polisakarida dengan berat molekul yang lebih rendah daripada selulosa dan lebih mudah terhidrolisis. Lignin merupakan komponen yang terletak di antara serat yang berfungsi sebagai pengikat antar serat. Selain itu, lignin juga terdapat pada dinding sel. Lignin tidak mudah larut karena strukturnya yang kompleks tapi dapat dilarutkan dengan bahan kimia tertentu. Tujuan penggunaan bahan kimia pada pembuatan *pulp* adalah untuk melarutkan dan memisahkan lignin dari bahan. Keberadaan lignin menyebabkan lemahnya ikatan antar serat selulosa yang pada akhirnya menurunkan kualitas kertas yang dihasilkan (Karlsson, 2006). Berdasarkan struktur serat di atas, usaha untuk menghasilkan *pulp* dengan kualitas baik bertolak dari usaha menghilangkan lignin dari bahan. Keberadaan lignin yang mengikat selulosa dan hemiselulosa membentuk semacam penghalang fisik pada dua komponen tersebut yang mengakibatkan sulitnya penetrasi larutan dan enzim pada bahan.

Rantai selulosa pada dinding selulosa bergabung membentuk serat selulosa yang secara keseluruhannya membentuk struktur yang lebih besar yang disebut bundelan serat. Proses *pulping* bertujuan untuk menguraikan bundelan serat menjadi unit serat yang dapat dilakukan secara mekanis, termal, kimiawi atau kombinasinya. Pada umumnya, *pulp* dibuat dengan cara delignifikasi kimiawi, penguraian serat secara mekanik, atau kombinasi kimiawi dan mekanik. *Pulping* secara mekanik lebih banyak digunakan karena memberikan rendemen yang lebih tinggi daripada dengan metode kimiawi dan membutuhkan investasi modal yang lebih kecil. Pembuatan *pulp* dapat dibagi dalam beberapa cara dengan istilah yang umum digunakan yaitu *stone ground-wood (SGW) pulping*, *refiner mechanical pulping (RMP)*, *thermomechanical pulping (TMP)*, *chemi-thermomechanical pulping (CTMP)* dan *chemi-mechanical pulp (CMP)*. Setiap metode menggambarkan kondisi proses selama pembuatan *pulp* (Bajpai, Bajpai and Kondo, 1999). Proses mekanis dilakukan untuk mencabik serat dan bundelan serat dari matriks. Pada proses semimekanis, bahan baku diberi perlakuan dengan bahan kimia untuk melarutkan lignin sebelum dilanjutkan dengan proses mekanis untuk memisahkan serat (Sachs *et al.*, 1989). Dengan proses kimia, tidak hanya hampir semua lignin terlarut tetapi juga sejumlah selulosa dan hemiselulosa. Rendemen pembuatan *pulp* secara kimia relatif lebih rendah dibandingkan secara mekanik. Rendemen pembuatan *pulp* secara mekanik paling tinggi dibandingkan proses lain yaitu sekitar 90-95%, secara kimiawi antara 40-55% dan sekitar 55-90% bila menggunakan proses kombinasi keduanya. Kualitas *pulp* yang baik dapat dilihat dari beberapa parameter diantaranya drainability (resistensi serat terhadap aliran air) dan bilangan kappa (menunjukkan kandungan lignin yang tersisa) (Karlsson, 2006).

Proses pembuatan *pulp* secara kimiawi menggunakan bahan kimia untuk menghilangkan lignin dari bahan. Bahan yang sudah lunak karena terlarutnya komponen lignin akan lebih mudah diproses secara mekanis untuk mengurai serat selulosanya. Karena kuatnya ikatan antar komponen pada biomassa berlignoselulosa, upaya ini melibatkan penggunaan larutan asam kuat pada kondisi yang sangat korosif dan temperatur serta pH yang tinggi. Kondisi ini juga mengakibatkan terdegradasinya sebagian selulosa sehingga menurunkan rendemen produk yang dihasilkan selain buangan yang mengandung bahan kimia yang berbahaya bagi lingkungan. Pengolahan limbah industri *pulp* memakan biaya yang sangat besar untuk mengantisipasi bahaya limbah ini.

*Biopulping* merupakan alternatif pembuatan *pulp* untuk mengatasi masalah pencemaran yang tinggi karena penggunaan bahan kimia. *Biopulping* adalah proses pelunakan bahan berlignoselulosa menggunakan jamur pendegradasi lignin sebelum proses *pulping*. Pada pembuatan *pulp* bio-mekanik, penggunaan jamur ditujukan untuk menggantikan penggunaan bahan kimia pada perlakuan pendahuluan pada bahan sebelum diproses secara mekanik. Pada metode kimiawi, *biopulping* dimaksudkan untuk mengurangi jumlah bahan kimia pemasak dan menambah kapasitas pemasakan (Bajpai, Bajpai and Kondo, 1999). Dengan proses ini, maka diharapkan konsumsi bahan kimia maupun energi pada proses lanjutannya dapat dikurangi. Sejumlah jamur berfilamen yang ditumbuhkan pada bahan berlignoselulosa terbukti memproduksi enzim yang mampu mendegradasi lignin secara selektif tanpa mendegradasi banyak serat selulosa. *Biopulping* dapat dilakukan baik pada proses mekanis maupun kimiawi. Keuntungan *biopulping* termasuk mengurangi energi untuk menghaluskan *pulp*, menambah kekuatan kertas, mengatasi masalah *pitch* atau noda pada kertas. meningkatkan

rendemen dan mengurangi dampak negatif pada lingkungan.

#### PENGGUNAAN JAMUR PELAPUK PUTIH PADA *BIOPULPING*

Proses kunci *biopulping* adalah biodegradasi lignin. Jenis mikroorganisme yang diteliti secara intensif untuk mendegradasi lignin adalah jamur pelapuk putih atau *white rot fungi* dari kelas basidiomicetes. Banyak penelitian menunjukkan bahwa perlakuan pendahuluan dengan jamur ini pada biomassa lignoselulosa sebelum proses mekanis ataupun kimiawi terbukti mampu mengurangi konsumsi energi, menurunkan polusi lingkungan dan meningkatkan kekuatan kertas yang diproses selanjutnya (Chad *et al.*, 2000; Mosai *et al.*, 1997) dan juga menguntungkan secara ekonomis (Shukla, Rai and Subramanyam, 2004; Scott, Akhtar and Swaney, 1998).

Istilah jamur pelapuk putih mengacu pada jamur tertentu dari kelas basidiomicetes yang memiliki kemampuan ligninolitik selektif yang tinggi. Jenis jamur ini merupakan satu-satunya kelompok mikroorganisme yang memiliki kemampuan memecah lignin secara ekstensif menjadi karbon dioksida dan air. Kelompok jamur ini menghasilkan sekelompok enzim yang secara langsung terlibat dalam perombakan lignin, diantaranya adalah jenis phenol-oxidase yang disebut laccase, lignin peroxidase (LiP) dan manganese peroxidase (MnP). Lignin merupakan biopolimer yang sangat irregular dengan struktur yang unik, tersusun dari unit-unit fenilpropanoid yang teroksidasi yang saling berikatan melalui bermacam ikatan C-C dan C-O-C sehingga makromolekul ini sukar didegradasi secara biologis. Jamur basidiomicetes ini diketahui dapat mengubah dinding sel bahan sehingga melunakkannya dan pada akhirnya mengurangi kebutuhan energi pada proses *pulping*.

Beberapa penelitian mencoba mengkombinasikan penggunaan lebih dari satu jamur pada saat yang bersamaan untuk mendegradasi lignin dengan tujuan untuk mempercepat metabolisme jamur ke metabolisme sekunder sehingga menstimulasi perombakan kayu dan produksi enzim pendegradasi lignin. Empat jenis jamur *Ceriporiopsis subvermispora*, *Physisporinus rivulosus*, *Phanaerochaete chrysosporium* dan *Pleurotus ostreatus* dicoba dikokulturkan dengan *pleurotus* memberi hasil terbaik untuk meningkatkan degradasi lignin (Maijala, 2005).

Penggunaan paling luas untuk pendegradasi lignin adalah jamur *Phanaerochaete chrysosporium*. Dua kelompok utama enzim dalam lignolisis adalah peroksidase dan lacasse. Enzim-enzim ini bekerja menggunakan perantara dengan berat molekul rendah untuk degradasi lignin. Tiap jamur memproduksi beberapa jenis enzim untuk kebutuhan ini dengan jenis dan jumlah yang berlainan (Perez *et al.*, 2002).

#### MEKANISME DEGRADASI LIGNIN PADA BIOMASSA LIGNOSELULOSA

Jamur pelapuk putih menghasilkan enzim oksidatif ekstraselular yang mampu mengoksidasi lignin. Kemampuannya mendegradasi lignin terbukti mampu meningkatkan derajat putih dan delignifikasi *pulp* kraft (Shukla, Rai and Subramanyam, 2004). Enzim yang paling penting dalam proses delignifikasi ini adalah MnP. Proses biologis melibatkan kerja enzim yang dihasilkan jenis mikroorganisme tertentu dengan tujuan sebagai perombak dan pelonggar ikatan dengan cara menguraikan lignin pada bahan.

Jamur pelapuk putih tidak hanya memproduksi sejumlah set enzim yang penting untuk mendegradasi lignin tapi juga berperan sebagai sistem transpor untuk enzim-enzim ini dengan membawanya menembus ke dalam kayu dan menciptakan kondisi fisiologis yang

diperlukan oleh reaksi enzimatik (Bajpai, Bajpai, and Kondo, 1999). Ligninolitik oksidoreduktase yang termasuk di dalamnya peroksidase, yang mampu mengoksidasi lignin non-fenolik dan laccase yang kerjanya terkait langsung dan terbatas pada unit fenolik yang hanya mewakili sejumlah kecil lignin.

Penelitian lanjutan pada sistem enzim pendegradasi lignin meliputi karakternya, produksi, mekanisme aksi dan genetika molekuler. Gambaran paling akhir tentang proses ini adalah hemoperoksidase yang bekerja sangat baik (lignin peroxidase and manganese peroxidase), dan laccase yaitu enzim yang bertindak diluar sel jamur untuk mengoksidasi lignin tidak spesifik, mendorong species radikal yang mengalami reaksi lanjutan dan mengakibatkan degradasi dan fragmentasi ekstensive polimer tersebut.

Laccase yang umum terdapat pada jamur pelapuk putih diketahui memacu banyak reaksi. Agar kinerja laccase makin efektif, penggunaan mediator dilakukan berupa fenol tumbuhan yaitu acetosyringone, syringaldehyde and *p*-coumaric acid. Penggunaan laccase dengan mediator alami yang banyak terdapat pada tanaman dan larutan *pulp* menunjukkan kemungkinan melakukan proses delignifikasi yang ramah lingkungan.

Usaha mempelajari mekanisme perombakan lignin oleh jamur pelapuk putih banyak menggunakan jamur *Ceriporiopsis subvermispora* karena kemampuannya memperlihatkan perubahan kandungan dan struktur lignin yang spesifik (Yaghoubi, Pazouki, and Shojaosadati, 2008). *C. subvermispora* menghasilkan banyak MnP dan laccase tapi tidak terdeteksi menghasilkan LiP ketika ditumbuhkan pada beberapa media. MnP memiliki peranan penting karena mampu mengoksidasi Mn(II) menjadi Mn(III) yang selanjutnya mengoksidasi bahan fenolik.

Selama 90-an, usaha di tingkat genetika molekuler pada sistem

degradasi lignin, selulosa maupun hemiselulosa banyak dilakukan yang meliputi pengklonan, sequencing dan pengekspresian gen baik pada inang homolog maupun heterolog sehingga banyak yang mulai diketahui tentang struktur, organisasi genom dan regulasi pengkodean gen pada protein-protein ini (Perez *et al.*, 2002). Penelitian spesifik jenis proses *pulping* tertentu dengan menggunakan jamur *white rot* seperti dilakukan Mosai *et al.* (1999) memperlihatkan *C. subvermispora* paling baik digunakan untuk biosulfit *pulping*. Penggunaan *white rot* pada material non kayu seperti jerami gandum mampu menjelaskan hubungan antara penghilangan lignin, pemisahan serat sklerenkematik dan kondisi *pulping* (Martinez *et al.*, 1994).

#### PENINGKONDISIAN SUBSTRAT

Banyak penelitian dilakukan untuk menjawab kelemahan proses biologis. Diantaranya penggunaan jamur yang telah direkayasa genetika, pengkondisian substrat dengan perlakuan pendahuluan, maupun dengan penambahan nutrisi tertentu pada waktu proses dan penjagaan kondisi fisik selama proses. Penggunaan inokulum dalam bentuk suspensi dengan masa inkubasi bervariasi dari 5 hari hingga 8 minggu menunjukkan tingkat degradasi lignin yang berbeda (Mosai *et al.*, 1999).

Karena enzim dihasilkan dalam medium pertumbuhan, maka medium harus dikontrol agar mampu meningkatkan produksi enzim. Inokulasi jamur pada bahan dilakukan dengan cara disemprotkan maupun dengan cara *submerged culture* (terendam) (Mosai *et al.*, 1999; Behrendt *et al.*, 2000; Yaghoub *et al.*, 2008). Pemberian uap panas pada bahan sebelum inokulasi, penambahan nutrisi selama inokulasi dan aerasi yang cukup pada suhu dan kelembaban terkontrol dibutuhkan untuk mencapai nilai optimum. Penggunaan jamur memerlukan proses sterilisasi sebelum

inokulasi seperti pada *C. subvermispora*, akan tetapi penggunaan *Phlebotis gigantea* dapat diaplikasi langsung pada bahan segar (Behrendt *et al.*, 2000). Penambahan sumber karbon selama perlakuan pendahuluan dengan jamur dilaporkan tidak memberi pengaruh signifikan (Mosai *et al.*, 1999).

Karena jamur pelapuk putih tidak memproduksi spora, maka miselium digunakan sebagai inokulum. Besarnya jumlah inokulum yang dibutuhkan dapat dikurangi dengan penambahan nutrisi yang mampu memacu pertumbuhan jamur selama inkubasi (Akhtar *et al.*, 1997). Usaha yang dilakukan berupa penambahan nutrisi berharga murah terkait kelayakan dari segi ekonomi. *Corn steep liquor* terbukti dapat mengurangi jumlah pemakaian inokulum pada bahan karena mampu memacu pertumbuhan jamur (Akhtar *et al.*, 1997; Yaghoubi *et al.*, 2008).

#### KESIMPULAN

Ikatan yang kuat antar komponen penyusun biomassa berlignoselulosa menghalangi proses pembuatan *pulp*. Penggunaan jamur pelapuk putih mampu mendegradasi lignin secara selektif sehingga serat selulosa sebagai bahan *pulp* tidak rusak. Untuk mengoptimalkan pertumbuhan jamur pada substrat berlignoselulosa, penambahan nutrisi dan penciptaan kondisi proses baik secara biologis maupun fisik dapat dilakukan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Akhtar, M., M.J. Lentz, R. A. Blanchette, and T.K. Kirk. 1997. Peer Reviewed. Corn steep liquor lowers the amount of inoculum for biopulping. TAPPI Journal 80(6)
- Bajpai, P., P.K. Bajpai, and R. Kondo, 1999. Biotechnology for environmental protection in the pulp and paper industry. Springer-Verlag. Berlin
- Holmberg, J. M. and L. Gustavsson. 2007. Biomass use in chemical and mechanical pulping with

- biomass-based energy supply. Resources, Conservation and Recycling 52 (2007) 331–350
- Hossain, S.M. and N. Anantharaman. 2006. Activity enhancement of ligninolytic enzymes of *Trametes versicolor* with bagasse powder: Full Length Research Paper. African Journal of Biotechnology 5(1): 189-194
- Howard, R.L., E. Abotsi, E. L. J. van Rensburg, and S. Howard. 2003. Review: Lignocellulose biotechnology: issues of bioconversion and enzyme production. African Journal of Biotechnology 2(12): 602-619
- Karlsson, H. 2006. Fibre Guide: Fibre Analysis and Process Applications in The Pulp and paper Industry, a handbook, Lorentzen & Wettre, Sweden
- Kirk, T.K., W. J. Connors, and J.G. Zeikus. 1976. Requirement for a growth substrate during lignin decomposition by two wood-rotting fungi. Applied and Environmental Microbiology 32(1): 192-194
- Lobos, S., M. Tello, R. Polanco, L. F. Larrondo, A. Manubens, L. Salas and R. Vicuña. 2001. Enzymology and molecular genetics of the ligninolytic system of the basidiomycete *Ceriporiopsis subvermispota*. Current Science 81(8)
- Majjala, P. 2005. Co-culturing of White rot Fungi on Wood – Potential in Biopulping? Seminar on Forest Pathology, 4<sup>th</sup> April 2005, Finland
- Martinez, A. T., S. Camarero, F. Guillen, A. Gutierrez, C. Munoz, E. Varela, M. J. Martinez., J. M. Barrasa, K. Ruel, and J. M. Pelayo. 1994. progress in biopulping of non woody materials: chemical, enzymatic and ultra-structural aspects of wheat straw delignification with ligninolytic fungi from the genus pleurotus. FEMS Microbiology Reviews 13:265-274
- Mosai, S., J. F. Wolfaardt, B. A. Prior, and L. P. Christov. 1999. evaluation of selected white rot fungi for biosilfite pulping. Bioresource Technology 68: 89-93
- Perez, J., J. Munoz-Dorado, T. de ls Rubia, and J. Martinez. 2002. Biodegradation and biological treatments of cellulose, hemicellulose and lignin: an overview. Int Microbiology 5: 53-63
- Scott, G. M., M. Akhtar, and R. E. Swaney. 1998. Economic Evaluation of Biopulping. 7th International Conference on Biotechnology Pulp and Paper Industry. June, 16-19, 1998, Vancouver
- Shukla, O. P., U. N. Rau, and S. V. Subramanyam. 2004. Biopulping and Biobleaching: an energy and environment saving technology for indian pulp and paper industry. Newsletter of ISEB. India Vol 10, April
- Tran, A. V. 2006. Chemical analysis and pulping study of pineapple crown leaves. Industrial Crops and Products 24: 66–74
- Virtanen, T., S. L. Maunu, T. Tamminen, B. Hortling, and T. Liitia. 2008. Changes in fiber ultrastructure during various kraft pulping conditions evaluated by <sup>13</sup>C CPMAS NMR spectroscopy. Carbohydrate Polymers 73: 56–163
- Widsten, P. and A. Kandelbauer. 2008. Laccase applications in the forest products industry: a review. Enzyme and Microbial Technology 42: 293–307
- Yaghoubi, K. M., S. A. Pazouki, and Shojaosadati. 2008. Variable optimization for biopulping of agricultural residues by *Ceriporiopsis subvermi spota*. Bioresource Technology 99: 4321–4328